

68:92

PREVENCIÓN DEL  
RIESGO DE EXPLOSIÓN  
EN CALDERAS

DOCUMENTOS  
TECNICOS



INSTITUTO NACIONAL  
DE SEGURIDAD E HIGIENE  
EN EL TRABAJO

# **PREVENCION DEL RIESGO DE EXPLOSION EN CALDERAS**

**Autor:**

**José Jaime ROMERO SANCHEZ**

**Dr. Ingeniero de Minas**

**Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Madrid**

**68 : 92**

**Noviembre 1992**

### AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a las personas que seguidamente se relacionan:

Aguado Boto, Mariano  
Director Comercial General de "Vulcano-Sadeca"

Antón Hoyos, Vicente  
Director General "Torre Picasso". Madrid.

Blasco Blasco, Antonio  
Director General de "Cofrimasa"

Urbano Cerezo, Manuel  
Jefe Departamento Seguridad de "Construcciones y Contratas"

Valero Piñol, Alejandro  
Jefe Departamento Climatización de "Sulzer Sistemas e Instalaciones,  
S.A."

Mención especial para los Sres. Aguado (contramaestre), Buendía (fabricación), Caro (comercial) y Martínez (puesta en marcha), de la empresa "Vulcano-Sadeca" en Madrid.

## INDICE

I.	INTRODUCCION .....	7
II.	LAS CALDERAS .....	9
	1. Definiciones .....	9
	2. Tipos de Calderas .....	11
	3. Elementos y equipos auxiliares .....	13
III.	LA EXPLOSION .....	17
	1. Definiciones y tipos .....	17
	2. Origen de las explosiones en calderas .....	18
IV.	LAS MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD .....	19
	1. Defectos de proyecto y diseño .....	19
	2. Pérdidas de agua dentro de la caldera .....	20
	3. Impurezas en el agua de alimentación y mala limpieza de la caldera .....	24
	4. Exceso de presión dentro de la caldera .....	30
	5. Regulación defectuosa de la llama, o de la combustión .....	36
	6. Fallo de los sistemas de regulación y/o de los dispositivos de seguridad .....	39
	7. Envejecimiento de las paredes de la caldera .....	40
	8. Mantenimiento defectuoso .....	40

V.	INSTRUCCIONES ESPECIFICAS PARA FABRICANTES, USUARIOS Y OPERADORES .....	42
	1. Fabricantes .....	42
	2. Usuarios e instalaciones (locales) .....	45
	3. Operadores .....	56
VI.	LAS PRESCRIPCIONES E INSPECCIONES (MIE-API-ART.6) .....	71
	1. Registro de tipos .....	71
	2. Autorización de instalación .....	71
	3. Autorización de puesta en servicio .....	72
	4. Primera prueba .....	72
	5. Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento .....	72
	6. Inspecciones a los 5 años .....	72
	7. Inspecciones posteriores .....	73
	8. Inspecciones anuales .....	73
VII.	CONCLUSIONES .....	75
VIII.	LEGISLACION .....	77
IX.	BIBLIOGRAFIA .....	79
	ANEXOS .....	81

## I. INTRODUCCION

Continuando con la labor preventiva encomendada al INSHT por parte del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, al objeto de disminuir el número de accidentes de trabajo en las empresas, el CNNT de Madrid del citado Instituto, consideró oportuno el que se realizara un estudio donde se recopilaran las recomendaciones más idóneas de cara a controlar el riesgo que nos ocupa.

De los diferentes riesgos de accidentes que presentan las calderas, es el de explosión el que se sitúa en primer lugar, dadas las elevadas presiones y temperaturas a las que trabajan las mismas.

Para la elaboración del trabajo presente se han analizado previamente los siguientes aspectos:

- Evaluación de riesgos y Condiciones de Trabajo mediante visitas a centros de trabajo.

- Investigación de accidentes mediante Encuesta de las causas de los mismos

- Estudio de las Condiciones de Seguridad de las calderas y de sus elementos

- Recopilaciones bibliográficas y de información

Cuando mencionamos a lo largo de la obra a la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía, nos referimos a la Conserjería de Industria de la Comunidad Autónoma correspondiente.

## II. LAS CALDERAS

### 1. Definiciones

**Riesgo de accidente** es la probabilidad de que a un operario se le produzca una lesión como consecuencia del trabajo realizado.

**Los riesgos profesionales** podemos definirlos también como aquellas situaciones de trabajo que pueden romper el equilibrio físico, mental y social de las personas.

Todo trabajo o tarea, implica un riesgo para el trabajador de cara a poder accidentarse. (Ver Anexo 1).

Dicho riesgo podríamos eliminarlo, o controlarlo (hacer prevención). En caso contrario, el riesgo originaría unas consecuencias que producirían daños materiales o lesiones personales. Las consecuencias podríamos igualmente eliminarlas o controlarlas (hacer protección).

Por ejemplo si nos referimos al riesgo de explosión, por aparición de polvo de carbón en el ambiente de una galería en una explotación minera, **eliminaremos el riesgo** si perforamos la capa de carbón inyectando agua simultáneamente por la pica de la perforadora, depositándose el polvo de carbón al combinarse con el agua formando un barro; con ello habrá desaparecido el origen de la explosión (presencia de polvo de carbón). Por otro lado **controlaremos el riesgo de explosión de dicho polvo** si utilizamos una extracción localizada, que absorberá el polvo explosivo y lo conducirá a otra zona. El peligro

de explosión lo habremos controlado pero no eliminado dado que seguirá existiendo dicho polvo en la zona de trabajo a donde fue transportado. En ambos casos hemos realizado **prevención**.

Supongamos que el polvo de carbón no se ha eliminado ni controlado, el polvo de carbón, permanece como riesgo y se manifiesta por las consecuencias derivadas de la inhalación de dicho polvo por parte del trabajador que podría ocurrirle la enfermedad profesional correspondiente. En este caso habremos hecho protección que evitará lesión.

Conviene reseñar que el orden preferencial en caso de posible elección de actuación sería el siguiente:



La **caldera**, es todo recipiente donde se caliente o se hace hervir un líquido para algún servicio. Otra definición más técnica sería (art. 1 de I.T.C.- MIE-Ap 1) : Todo recipiente a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía, se transforma en utilizable a través de un medio de transporte en fase líquida (agua, aceite, mercurio, etc...) o vapor (vapor de agua, etc...)

El calentamiento del líquido se puede realizar mediante un hogar, mediante gases calientes, provenientes de otro aparato industrial (horno), por el fluido regenerador de una pila atómica, por corriente eléctrica o por irradiación solar.

**Control de caldeo** es el conjunto de operaciones que conducen a un óptimo caldeo y a una combustión de la caldera bien regulada. El control se hace mediante aparatos indicadores o registradores.

**Tiempo de caldeo** es el tiempo que dura la operación de control de caldeo.

La **superficie de caldeo** es la superficie que transmite el calor.

La **saia de calderas**, es el habitáculo donde se ubican las calderas y sus accesorios.

El 95% se fabrican para producir agua caliente o vapor de agua.

A continuación se muestran algunos esquemas. Para producir agua caliente se representan sendas calderas con quemadores de gas y de carbón. Para producir vapor de agua se muestran esquemas de una caldera con hervidor, caldera con hogar interno, caldera tubular (tubular vertical) que dio un gran impulso al caldeo y fué debida al ingeniero francés Marc Seguin, y por último caldera acuotubular (Babcock Wilcox, y de marina).(Ver Anexo 2).

## 2. Tipos de Calderas

### Según lo que producen

- De vapor: Producen vapor de agua. (Foto 1).
- De agua sobrecalentada: Producen agua a temperatura superior a 110°C. (Foto 2).
- De agua caliente: Producen agua a temperatura inferior a 110°C
- De fluido térmico: Calientan un fluido distinto al agua(aceite, etc...)

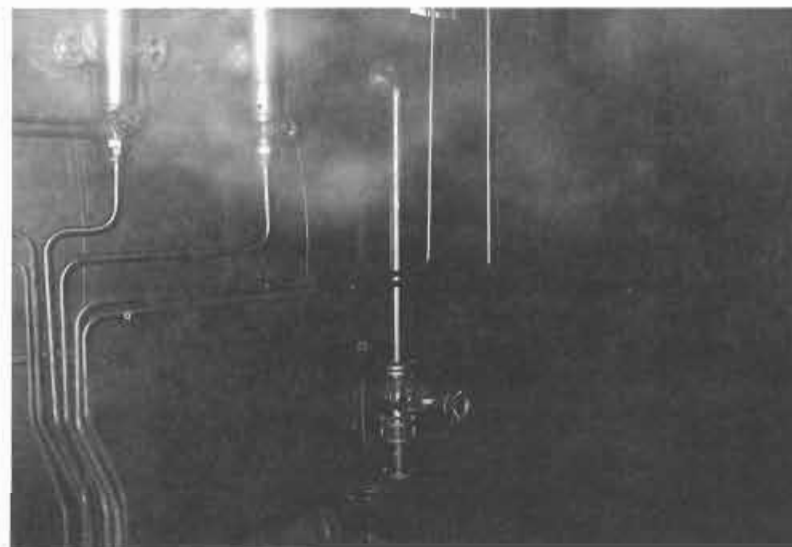


Foto 1. Caldera de vapor para matadero industrial

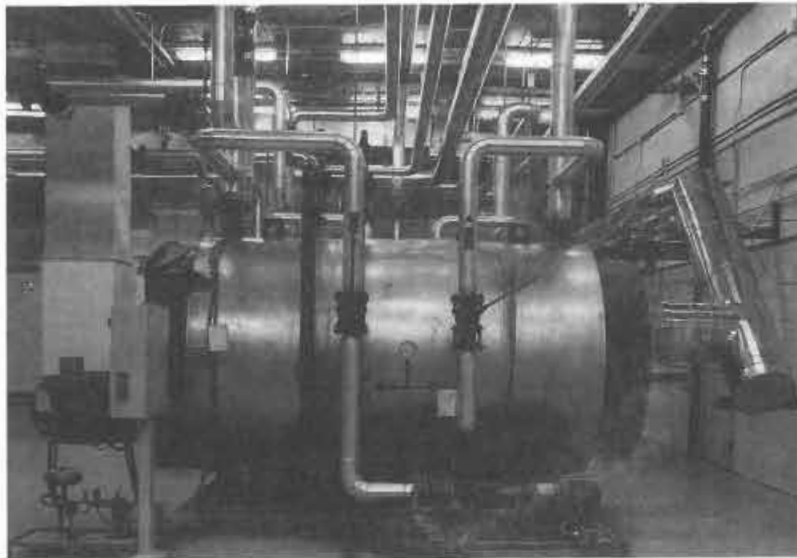


Foto 2. Caldera de agua sobrecalentada a 180°C para calefacción en edificio de 50 plantas

### Según su construcción

- a) Piro tubulares: Los gases calientes de combustión producidos por el quemador del hogar se hacen pasar por tubos o conductos que forman la superficie de caldeo mientras que el agua a calentar envuelve a los tubos.
- b) Acuotubulares: El agua a calentar se hace pasar por tubos o conductos mientras que los gases calientes de combustión envuelven a los tubos.

### Según el tipo de combustible del hogar

- a) Sólido: Carbón, virutas de madera, residuos sólidos
- b) Líquido: Derivados del petróleo
- c) Gaseoso: Gas natural, gases residuales de procesos metalúrgicos, químicos o de conversión del petróleo.
- d) Combustible múltiple

### Según la forma de calentar la caldera

- a) Mediante electrodos
- b) Mediante combustible

### Según su Seguridad (M.L.E.-API-Artículo 7)

- a) Categoría A:  $V \times P > 600$ . Categoría especial
- b) Categoría B:  $10 < V \times P < 600$ . Primera categoría
- c) Categoría C:  $V \times P < 10$ . Segunda categoría

Donde V es el volumen medio en metros cúbicos de agua de la caldera, y P, la presión en atmósferas, máxima de servicio. (Ver Anexo 3).

## 3. Elementos y equipos auxiliares

### Los elementos

Los elementos son los aparatos y dispositivos vitales de la caldera como el hogar, el quemador, el recalentador, el sobrecalentador, y el economizador.

**HOGAR.-** Es el recinto donde se produce el calor necesario para calentar la caldera.

Está constituido por la cámara de combustión, propiamente dicha, y además, por un conjunto de aparatos y mecanismos cuya importancia y complejidad varía según los diferentes tipos de sistemas.

Para hogares con alimentación mediante combustible sólido se representan a continuación varios esquemas. En los dos primeros, la carga es mecánica y se realiza mediante pala, o distribuidor rotativo; en el tercer esquema la alimentación se realiza por tornillo sin fin. (Ver Anexo 4)

Respecto a los tipos de hogares los clasificaremos:

### Según su ubicación

- a) Interiores: Forman parte integral de la propia caldera.
- b) Exteriores: Ubicado en la parte exterior de la caldera.



### Según su temperatura

- Calientes: Las paredes se construyen con material refractario con temperaturas próximas a las de combustión.
- Fríos: Las paredes, refrigeradas por el fluido a calentar, alcanzan una temperatura cercana a la de servicio de la caldera.
- Semicalientes

### Según el tipo de combustible

Sólido, líquido, gaseoso o mixto

### Según su presión

- En depresión: Presión inferior a la atmosférica.
- En sobrepresión: Presión superior a la atmosférica. (Ver Anexo 5)

**QUEMADOR:** Se define, como el dispositivo que mezcla íntimamente un combustible líquido o pulverizado, con un comburente gaseoso (aire, oxígeno) y a la salida de la cual se produce la combustión.

Podríamos decir, que es aquí donde se "quema" el combustible para producir el calor necesario para calentar la caldera y así poder elevar la temperatura del agua o del fluido. (Ver Anexo 6)

Existen tres tipos de quemadores: los de combustibles gaseosos que se emplean para alumbrado, aparatos de cocina, calefacción doméstica, hornos y en la industria para soldadura, calderas, etc. En las calderas de vapor el quemador suele ser de gas, y de grandes dimensiones con gases ricos o pobres que se calientan previamente al objeto de obtener en la caldera temperaturas elevadas.

Los quemadores para combustibles líquidos, emplean fundamentalmente fuel-oil que se pulverizará para su mejor mezcla con el aire. Los quemadores para combustibles sólidos, utilizan fundamentalmente carbón pulverizado o virutas de madera. Como en el caso anterior, si se empleara fuel del tipo "pesado", deberá calentarse previamente, para lo cual se les dotará de un dispositivo precalentador.

Actualmente se fabrican quemadores para calderas con alimentación mediante combustible sólido, si bien los más empleados son los de combustibles líquidos y gaseosos.

El recalentador, es el elemento donde por intercambio calorífico, se eleva la temperatura del vapor saturado de la caldera.

El economizador, es el elemento donde se recupera el calor sensible de los gases de salida de la caldera, para aumentar la temperatura del fluido de alimentación de la misma. (Foto 3).

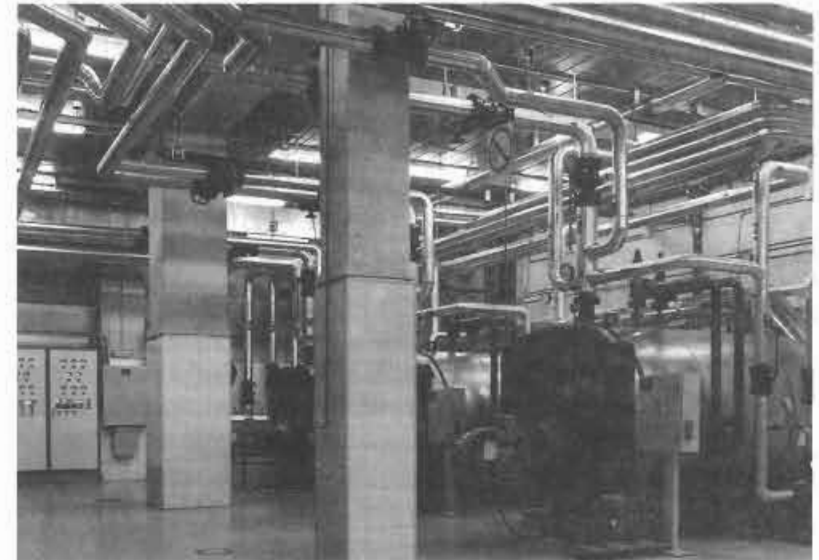


Foto 3. Vista general de sala de calderas

### Equipos auxiliares

Encuadramos aquí, diferentes sistemas y equipos complementarios del apartado anterior.

Sopladores (inyectan el aire al quemador)

Equipos para limpieza de la superficie de caldeo (permiten el eliminar las impurezas de la superficie de caldeo).

Sistema de alimentación y tratamiento de combustible (facilita la entrada del combustible al quemador, así como su tratamiento previo como pudiera ser su precalentamiento).

Equipo para eliminación de escorias y cenizas (agrupa los rascadores, cepillos, sin fines de eliminación, etc.).

Colectores de cenizas volantes y otros dispositivos para limpieza de humos (comprende los receptáculos que colectan las cenizas y humos).

Conducciones de gas y aire no conectado directamente a la caldera.

Tubería de agua y vapor (comprende la instalación encaminada a suministrar a la caldera la entrada de agua fría y su salida en forma de agua caliente o vapor).

Sistemas de suministro de combustible (se refiere a los sistemas para un correcto suministro de combustible para su perfecta mezcla con el aire atendiendo a que aquel fuera sólido, líquido o gaseoso).

Válvulas y acoplamientos.

Controles automáticos.

Aparatos de vigilancia y seguridad.

Equipos para tratamiento de agua de alimentación (se refieren a los encargados de preparar las aguas de entrada a la caldera al objeto de eliminar la dureza, alcalinidad, acidez, etc..., de aquellos).

Chimenea (sistema para evacuación de humos, gases, cenizas, etc...).

### III. LA EXPLOSION

#### 1. Definiciones y tipos

La definimos como el efecto producido por la expansión violenta y rápida de un elemento al que se le excita convenientemente. Otra definición sería como todo fenómeno durante el cual se liberan o desprenden gases a presión en brevísimo espacio de tiempo. (E.T.S. Ing. Minas y Enciclopedia Larrouse).

Si bien existen diferentes tipos de explosiones (químicas, físicas, eléctricas, nucleares, etc...), nos detendremos sobre las dos primeras dado que son las más comunes en el ámbito laboral.

Diferenciamos las explosiones químicas de las físicas, al indicar que en las primeras la expansión se produce al combinarse un combustible con el oxígeno del aire, y excitarlos convenientemente mientras que en las segundas la expansión proviene de un fluido o gas, combustible o no combustible, encerrado en un recipiente al que se le somete a una sobrepresión o una depresión. Otra diferencia entre estos dos tipos de explosiones estriba en que en la explosión química existe combustión (mezcla combustible que se excita), mientras que en la expansión física no hay combustión.

Pongamos algún ejemplo, la explosión de una atmósfera hidrogenada en una nave donde se cargan baterías es de tipo químico (gas combustible en presencia de oxígeno), mientras que la explosión de una caldera de vapor es de tipo físico (vapor de agua a sobrepresión). (Ver Anexo 7)

Para que se produzca pues una explosión química necesitamos necesariamente la presencia de un combustible que junto al comburente (oxígeno), la energía de activación (chispa, cerilla, etc..) y la reacción en cadena, harán que aquella se produzca. Si faltara uno sólo de esos cuatro elementos, la reacción de combustión no se produciría y por tanto la explosión dejaría de existir. Por otro lado para producirse una explosión física no es necesaria la presencia de combustible; cualquier elemento no combustible (agua, aire, etc...) puede explotar si encerrado en un recipiente se le somete a una temperatura o presión interna suficientemente alta.

La explosión física es más peligrosa que la explosión química dado que junto al daño que pudiera producir esta última, se suma el proveniente por la rotura de la carcasa del recipiente.

## 2. Origen de las explosiones en calderas

Para prevenir convenientemente el riesgo de explosión en calderas, es fundamental el conocer los orígenes de las citadas explosiones. Destacan las siguientes:

Defectos del proyecto y diseño

Pérdidas de agua dentro de la caldera

Impurezas en el agua de alimentación y mala limpieza de la caldera

Exceso de presión dentro de la caldera

Regulación defectuosa de la llama o de la combustión

Fallo de los sistemas de regulación y/o de los dispositivos de seguridad

Envejecimiento de las paredes de la caldera (carcasa)

Mantenimiento defectuoso

A lo largo del capítulo siguiente se irán analizando los diferentes puntos expuestos, así como las medidas correctoras pertinentes.

## IV. LAS MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD

Una vez conocidas las causas de las explosiones en calderas, veamos para cada una de ellas las recomendaciones de seguridad más apropiadas.

### 1. Defectos de proyecto y diseño

Definiremos el proyecto de la instalación, como el conjunto de documentos que describen los elementos de la instalación de la caldera, su ubicación o interrelación, las condiciones de servicio y de seguridad, así como las características técnicas de aquellas.

El correcto diseño de una caldera debe seguir las siguientes puntualizaciones:

Diseño de una buena accesibilidad a las instalaciones para posteriores inspecciones y fácil mantenimiento de aquellas.

Previsión de dispositivos para futuro acople de los elementos de seguridad (válvulas, manómetros, termostatos, presostatos, indicadores de nivel).

Cálculo partiendo de dichos materiales para obtener "escantillado de virolas", fondos, tubos, injertos, etc.)

Diseño de especificaciones de materiales con reseña de características mecánicas y químicas.

Diseño de pruebas a realizar por los soldadores para obtener sus conocimientos antes de contratar sus trabajos de soldadura.

Procedimiento de soldadura a emplear con indicación de características de elementos de aportación, carencia de pasados, y tratamientos térmicos requeridos antes y/o después de la soldadura.

Enumeración y especificación técnica de las pruebas de presión

Advertencias acerca de los trabajos a realizar para la obtención de testigos de producción para, mediante los oportunos ensayos destructivos, verificar el mantenimiento de los parámetros de inicio.

Advertencias acerca de los trabajos sobre pruebas de funcionamiento de quemadores y de todos los elementos de seguridad de la caldera.

Advertencias acerca de los ensayos no destructivos posteriores a las soldaduras para vigilar la correcta realización de las mismas.

## 2. Pérdidas de agua dentro de la caldera

La pérdida de agua origina una elevación de temperatura de la misma, para un mismo aporte de calor, con lo que se genera un aumento de la presión interna de la caldera y una producción mayor de vapor al previsto inicialmente.

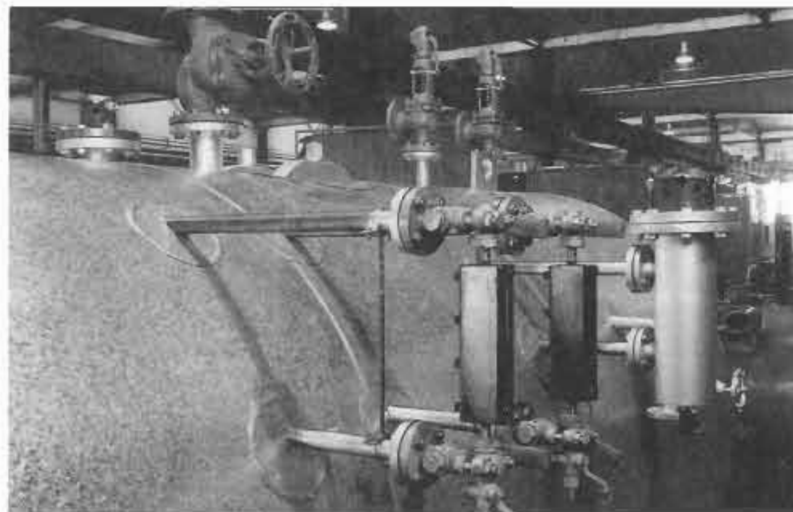
La forma de controlar esta anomalía sería vigilar el correcto funcionamiento de las válvulas de expansión de vapor, presostatos, manómetros, termostatos, indicadores de nivel, etc., al objeto de poder identificar y dar salida momentáneamente al problema, deberá procurarse el reparar la fuga de líquido lo antes posible.

El nivel mínimo del agua dentro de la caldera, se mantendrá setenta mm. más alto que el punto más elevado de la superficie de calefacción.

El control de nivel de agua, se lleva a cabo mediante el "nivel visual" o bien con el "nivel automático de sonda".

El diámetro interior mínimo de unión de los conductos de los indicadores de nivel visual con las cámaras que contienen el líquido y el vapor serán de 25 mm. no permitiéndose intercalar sifones entre ambas partes. Los indicadores deberán ser visibles al operario que vigile la caldera (máxima distancia 4 metros).

Normalmente en las calderas de vapor se instalan dos niveles visuales laterales y dos niveles automáticos de sonda, uno lateral y otro superior (3ª seguridad). (Fotos 4,5,6 y 7).



Fotos 4 y 5. Control de nivel de agua

Niveles: Laterales: 2 visuales y 1 automático de sonda (2ª Seguridad)  
Superior: 1 automático de sonda (3ª Seguridad)

La desventaja de los visuales sobre los automáticos estriba en que en los primeros se producen en ocasiones errores en las lecturas por acumulación de impurezas en la tubería de acceso del agua al nivel, mientras que en los automáticos, no hay tal error. El fun-



Foto 6. Detalle de un nivel visual

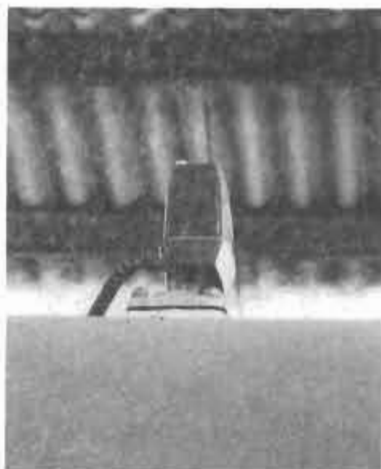


Foto 7. Detalle de un nivel de sonda  
(3ª seguridad)

cionamiento estriba en que en el nivel automático aparece un mecanismo de sonda eléctrica de forma que cuando la altura del agua dentro de la caldera llega a un valor mínimo prefijado, un flotador de boya o un mecanismo similar automático, se sitúa en una posición que cierra un circuito eléctrico que pone en marcha la entrada de agua a la caldera. El paro de paso de agua se realiza de forma análoga en el nivel máximo de altura de agua donde se corta la corriente al tomar el flotador la posición inversa a la inicial.

Respecto al sistema de alimentación de agua indicaremos lo siguiente:

La tubería de alimentación de agua desde la bomba de impulsión a la caldera, dispondrá de dos válvulas de retención (una a la salida de la bomba, y otra a la entrada de la caldera).

Se dispondrán dos sistemas de alimentación de agua independiente para el caso de calderas que utilicen combustibles sólidos no pulverizados, y si la potencia de aquellas fuera superior a 7000 Kw; además las fuentes de energía serán independientes.

La presión de inyección del agua será superior en un tres por ciento a la presión de tarado más elevado que la que tuvieran las válvulas de seguridad, incrementada en las pérdidas de carga de la tubería de alimentación, y en la geometría relativa.

Respecto al caudal de inyección, será una vez y media la máxima que pudiera evaporar la caldera.

Para calderas con nivel de agua definido con agua de aportación automatizada, el sistema de alimentación estará controlado por un dispositivo que detecte el nivel de agua. Dicho sistema actuará de forma que la válvula que controla la alimentación de agua quede en posición abierta, si se producen fallos en el flujo de accionamiento (electricidad, aire, etc...) En el caso de acción discontinua, el sistema detector de nivel actuará sobre la bomba de alimentación, parándola o poniéndola en servicio.

Para calderas automatizadas con nivel de agua no definido, el sistema de alimentación cubrirá la demanda de vapor de la instalación mediante bombas de tipo volumétrico.

El agua de alimentación se introducirá en la caldera de forma que no descargue directamente sobre superficies expuestas a gases a temperaturas elevadas o bien a radiaciones directas de fuego.

No se utilizarán bombas alimentadoras accionadas a mano.

Si la alimentación proviene de una red general de abastecimiento público, la presión no será nunca inferior a 2 kg/cm<sup>2</sup> sobre la presión de tarado de válvulas, incrementado, en las pérdidas de cargas correspondientes al sistema de tratamiento de agua, para lo cual se intercalará un manómetro.

### 3. Impurezas en el agua de alimentación y mala limpieza de la caldera

Si la alimentación de las calderas se hiciera con agua no tratada, se formaría dentro de ellas un importante sedimento o incrustación muy resistente sobre la superficie de calefacción haciendo de pantalla a la propagación del calor entre el hogar y el fluido a calentar. De ello se deduce que el rendimiento baja rápidamente, y para una misma capacidad de producción es necesario forzar la marcha de la combustión, deteriorándose las superficies de calefacción al alcanzar temperaturas excesivamente altas por no estar refrigeradas por el agua, amén de poder llegar en el hogar, al forzar su marcha, a un sobrecalentamiento del mismo. (Fotos 8,9,10 y 11).

Estos dos hechos pueden llevar a gravísimas consecuencias a la caldera pues podría explotar.

“El tratamiento de agua de alimentación debe ser determinado por un especialista, siguiendo las características límites admisibles para el

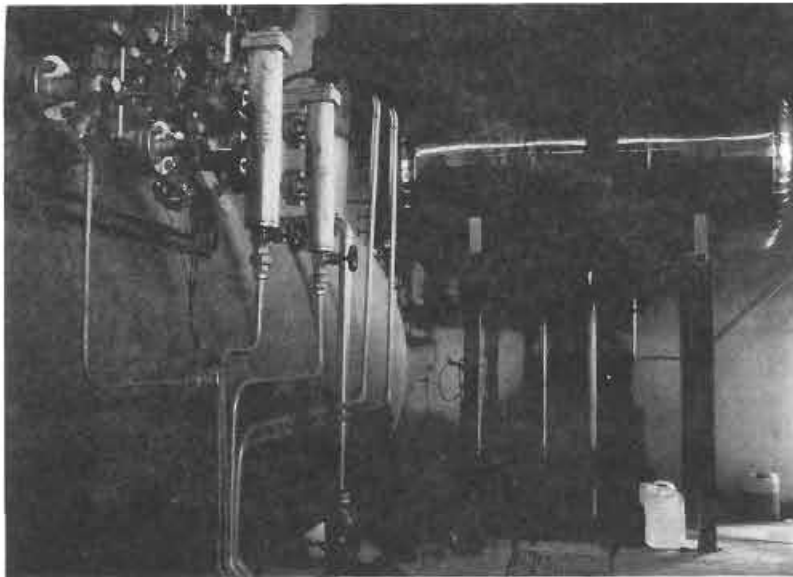


Foto 8. Vista de una caldera de vapor y del depósito para depuración de aguas

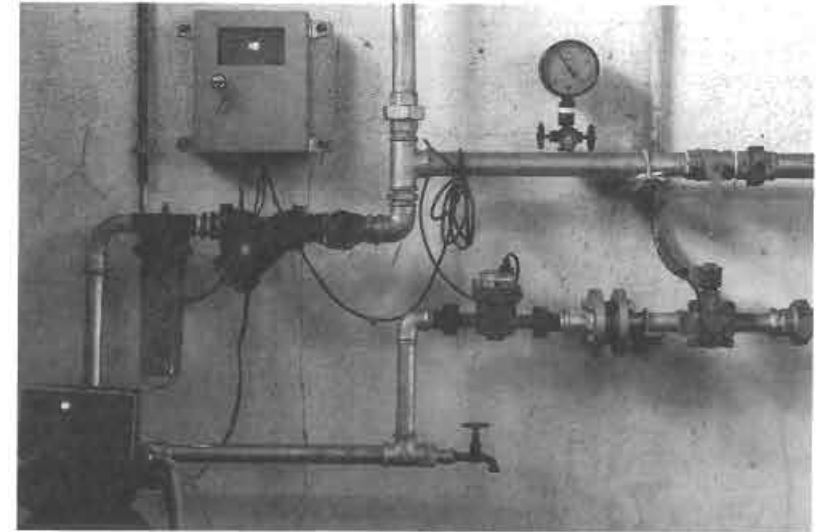


Foto 9. Instalación para limpieza del agua de entrada a la caldera

tipo de caldera y la presión de trabajo después de haber efectuado un análisis de agua a utilizar.”

Las calderas deben ser alimentadas con agua tratada. (Ver Anexo 8).

Por otro lado, las aguas no tratadas pueden generar en la caldera debilitamiento de sus paredes con el consiguiente riesgo de rotura de aquella por producirse “blandos”.

El citado debilitamiento se debería a ataques químicos (corrosión), o mecánicos (abrasión), de las aguas de aportación.

Respecto a la limpieza de las aguas y de la caldera, podrían observarse las siguientes recomendaciones:

#### Del lado del agua

##### En carga

Tratamiento y acondicionamiento del agua de entrada en la caldera de impurezas como Ca, Mg, SiO<sub>2</sub>, Fe, Cu y O<sub>2</sub> mediante intercambio

iónico. Además y para eliminar los residuos se emplean productos químicos como el  $\text{Na}(\text{OH})$ ,  $\text{PO}_4\text{Na}_3$ , Hidracina,  $\text{SO}_3\text{Na}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y Aminas.

#### En parado

- a) Métodos físicos: Los sedimentos blandos se eliminan mediante cepillado, o chorreo con agua a alta presión.
- b) Métodos químicos: se introducen compuestos químicos que reaccionarán con los sedimentos disolviéndolos ( $\text{ClH}$ ,  $\text{NH}_3$ , Acido cítrico, Bromato sódico, etc...)

#### Del lado del fuego

##### En carga

- a) Métodos físicos: Se emplea el soplador del hollín, que elimina el hollín, el polvo, y otras impurezas, todos ellos depositados en los tubos o conductos para gases. Aquellos sedimentos podrían dificultar seriamente el flujo de gases por los conductos que originaría un aumento de temperatura de los gases en la chimenea.
- b) Métodos químicos: se emplea  $\text{MgO}$ .

##### En parada

El polvo se elimina por soplado con aire, o por aspiración. Los depósitos adheridos, se eliminan lanceando con aire o por remojado con detergente y lavados con agua a  $70^\circ\text{C}$ .

Las incrustaciones más adheridas se eliminan por granallado.

Los productos químicos de acondicionamiento empleados para



Foto 10. Recipiente para mezcla de productos (tratamiento de aguas).

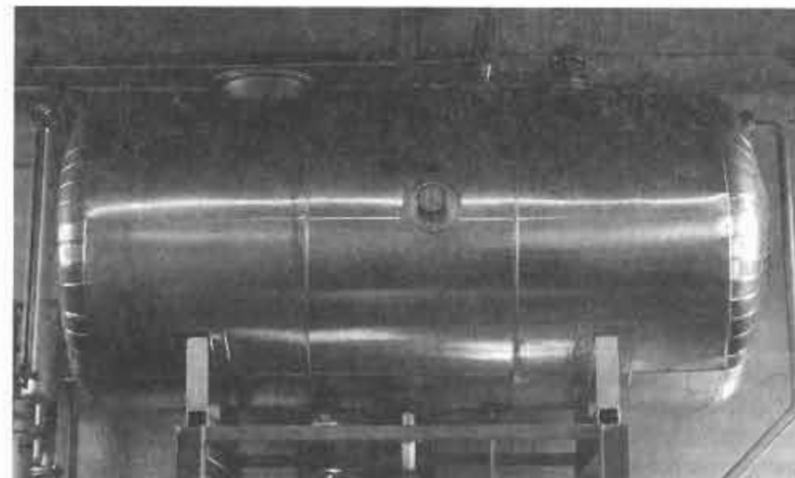


Foto 11. Depósito para tratamiento del agua

minimizar la formación de incrustaciones en el lado del agua, presentan sus propios riesgos. El hidróxido sódico (sosa caústica) produce graves quemaduras de la piel, la hidracina es altamente tóxica, y ciertas aminas empleadas en el tratamiento de agua para calderas tienen también propiedades tóxicas. Se desconocen los efectos a largo plazo de los productos anti-incrustantes, pero deberá tenerse cuidado cuando se los manipule. En el almacenamiento de productos químicos no deberá permitirse que el sulfito sódico entre en contacto con ácidos, ya que se desprenderían humos venenosos. En todo momento deberá observarse una estricta higiene personal, y en los lugares donde se almacenen productos químicos no se deberá comer ningún tipo de alimento. Cuando se empleen o manipulen productos químicos, deberá utilizarse ropa protectora. La obstrucción total o parcial de los conductos por gases en el lado del fuego puede producir un sobrecalentamiento, las partículas sólidas arrastradas por la corriente gaseosa erosionan los hogares y los tubos de agua, y pueden ocasionar una disminución peligrosa del espesor de la correspondiente pared metálica.

Cuando se abre una caldera para inspeccionarla, puede haber peligro al retirar el revestimiento de calorifugado. Los materiales

empleados para el calorifugado pueden contener amianto u otros materiales que producen efectos nocivos sobre los pulmones. Los peligros durante la limpieza en parado surgen de los propios métodos de limpieza. Los ácidos empleados para eliminar químicamente las incrustaciones de las calderas pueden producir quemaduras en la piel, y si alcanzan los ojos, pueden provocar pérdida de visión. Cuando se empleen mezclas de ácidos en contenido de fluoruros, deberán tomarse especiales precauciones. Estas mezclas generan ácido fluorhídrico, el cual produce quemaduras muy graves de la piel, que curan con gran dificultad. Cuando se quitan los sedimentos del lado del agua o del lado del fuego por medios mecánicos, existe siempre un problema de polvo. Entre otras cosas, este polvo puede contener sílice, amianto y compuestos del vanadio y del arsénico. Estas y otras sustancias que se encuentran en los residuos del lado del fuego pueden ser tóxicas, corrosivas o cancerígenas, y pueden ocasionar daños a los riñones, hígado, pulmones y vejiga. A veces para la limpieza se emplean agentes humectantes que pueden provocar reacciones de tipo alérgico a ciertos trabajadores. Se han dado casos de muertes o de lesiones graves como resultado del encendido accidental de los quemadores mientras aún quedaban hombres dentro de los hogares de las calderas. Hay constancia de accidentes producidos por entrar dentro de calderas que no han sido adecuadamente ventiladas o que no se han dejado enfriar un tiempo suficiente; lo primero puede provocar la asfixia, y lo segundo trastornos en la termorregulación, calambres o entumecimientos, y ataques por calor. También pueden surgir peligros por objetos que salen disparados o que caen. La granalla que se usa para limpiar las superficies del lado del fuego en las calderas acuatubulares puede rebotar, y los cepillos-bala pueden salir despedidos de los tubos a alta velocidad (hacia las cámaras colectoras). También pueden caer de lo alto trozos de cenizas aglomeradas.

Veamos seguidamente algunas medidas de seguridad cuando se limpia la caldera.

No deberá entrarse en los hogares, cámaras colectoras o envolventes de ninguna caldera sin que haya sido establecida una autorización para el trabajo de que se trate. Esta autorización deberá establecerse después de que una persona competente y responsable se haya asegurado de que la caldera se ha enfriado hasta una temperatura

inferior a los 40°C. La caldera deberá estar bien ventilada, de forma que se garantice que las presiones externa e interna sean iguales, minimizando así el peligro de que una puerta de visita salga disparada o de que el personal de mantenimiento sea succionado por el vacío. Deberá haber un adecuado suministro de aire, y no deberá haber presentes gases o vapores tóxicos, inflamables o explosivos. Todas las válvulas y registros que controlan las entradas de vapor, agua y gases de combustión deberán estar cerradas y enclavadas o con los tubos cegados. Cuando dos o más calderas comparten los mismos dispositivos de descarga de seguridad, deberá cerrarse, enclavarse y quitar la llave de la válvula de descarga de seguridad de la caldera que va a ser inspeccionada. Antes de inspeccionar una caldera de electrodos, deberá aislarse totalmente la caldera de las fuentes de alimentación.

Los operarios deberán ir vestidos con ropas impermeables y llevarán prendas que les protejan las manos, cara y ojos de los ácidos y otros productos químicos. Deberán utilizarse cascos de seguridad. Cuando haya peligros por polvo se utilizarán mascarillas equipadas con filtros adecuados, y si hay presentes gases tóxicos o nocivos, o si puede surgir una deficiencia de oxígeno, deberá usarse un equipo respirador completo. Cuando un hombre esté trabajando en el interior de una caldera u horno, deberá estar equipado con un cinturón de seguridad y una cuerda salvavidas y deberá estar acompañado por una persona responsable que permanecerá en el exterior. Deberá evitarse que las herramientas puedan caer sobre personas que estén trabajando más abajo.

Después de terminada la limpieza por productos químicos del lado del agua es esencial enjuagar correctamente la caldera para eliminar los productos químicos perjudiciales, y después hacer una ventilación forzada para asegurar que no quedan humos nocivos o, gases inflamables o explosivos. Antes de entrar dentro deberá comprobarse la atmósfera. Los andamios o plataformas empleados por los operarios deberán inspeccionarse antes de ser usados: Se desmontarán los fusibles que controlan los circuitos eléctricos de la instalación y los interruptores se enclavarán en la posición "desconectado". Deberán colocarse carteles de aviso en sitios bien visibles, indicando que hay personas trabajando en el interior. Las lámparas portátiles irán alimentadas a baja tensión; en ciertos países se considera adecuado de 25



a 50 voltios. Mientras se esté limpiando a base de utilizar cepillos-proyectil, la cámara receptora deberá taponarse, con el fin de evitar que los cepillos que salen disparados acaben entrando en otros tubos. Las aberturas de los orificios de vista deberán cegarse para evitar que los cepillos puedan salir disparados fuera y lesionar a alguien. Se dispondrán aspiradores para retirar el polvo, limitándose así la formación de nubes de polvo.

Durante la ejecución de operaciones de limpieza y de mantenimiento habrá de disponerse de un equipo de primeros auxilios, incluyendo un aparato para oxigenoterapia, y siempre deberá haber personas disponibles con especial entrenamiento en técnicas de reanimación. Deberá disponerse de instalaciones sanitarias y de aseo, y se insistirá en la necesidad de la higiene personal.

Es aconsejable un reconocimiento médico previo a la contratación del personal, y también después, periódicamente, de todos los operarios encargados del mantenimiento de hogares y calderas. Estos reconocimientos deberán incluir un examen del tórax por Rayos X, especialmente en personas que pueden estar expuestas al polvo de sílice de amianto, y un cuidadoso examen de la piel. Donde haya probabilidad de tumores de vejiga debidos a la ingestión de amianto, deberán efectuarse unos reconocimientos especiales.

#### 4. Exceso de presión dentro de la caldera

Si las paredes interiores de la caldera estuvieran sometidas a unas presiones superiores para las que fueron diseñadas, podría aquella explotar. El origen de dichas sobrepresiones es múltiple (exceso de aporte de calor a la caldera, bajada de nivel de agua dentro de la misma, fallo en las válvulas de salida de exceso de vapor, etc...).

El control de esta anomalía se realiza mediante los **presostatos**, cuya misión es parar automáticamente al quemador. Al interrumpirse la entrada de calor a la caldera, la temperatura bajará así como la presión interna de la misma. (Fotos 12 y 13).

El control manual de la presión, se realizaría por el operario mediante un interruptor o pulsador a la vista de la lectura de los termómetros, manómetros, etc... (Foto 14).

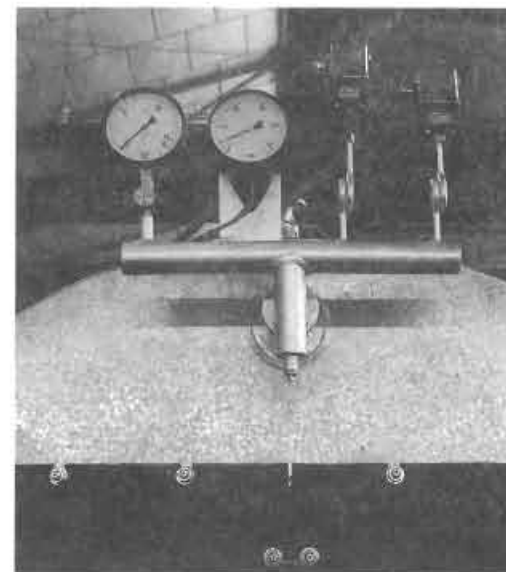


Foto 12. Caldera de combustible sólido

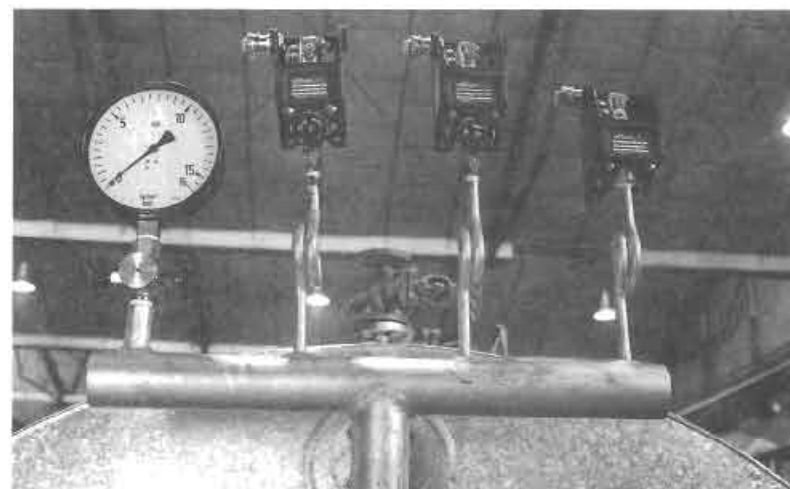


Foto 13. Control de presión en caldera. Manómetros y presostatos para caldera de vapor

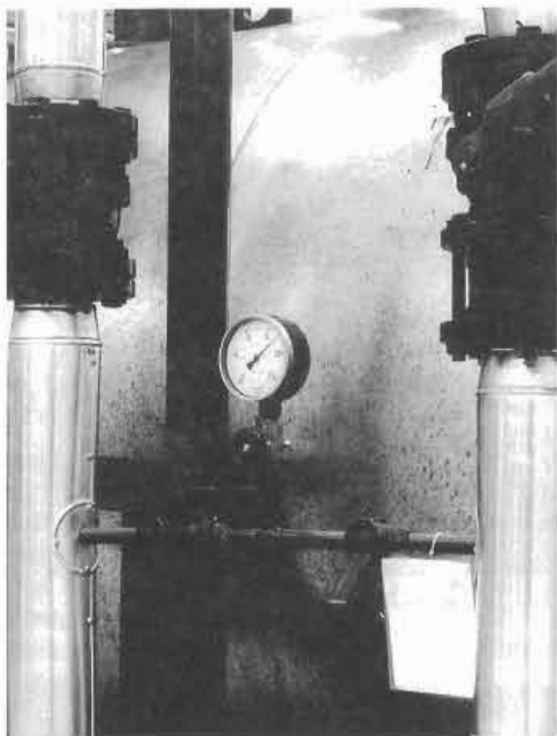


Foto 14. Control de presión en tuberías. Caso de manómetro intercalado entre dos líneas de paso, para medir a derecha o izquierda

Otra forma de controlar el exceso de presión se realizará mediante la incorporación a la caldera de las válvulas de seguridad, por donde saldrá el exceso de vapor y de las que más adelante hablaremos. (Foto 15 y 16).

Para calderas de vapor alimentadas por combustible líquido, se utilizan tres presostatos; los dos primeros son de trabajo y de mecanismo "marcha-parada-marcha" automáticos, actuando con arreglo a la demanda de calor de la caldera (Foto 13). El primero suele trabajar a un 50% de entrada de fuegos y el segundo a un 100%. El tercer presostato es de "parada", y actúa cuando fallan los dos anteriores.

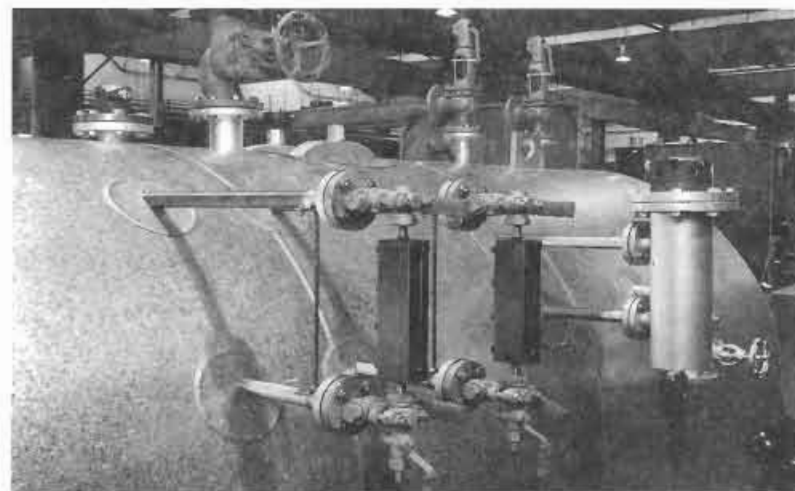


Foto 15. Control de presión en la caldera mediante válvulas de seguridad. Vista general

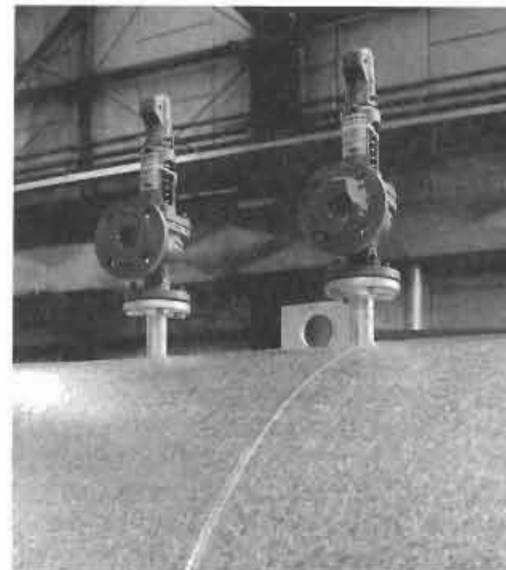


Foto 16. Control de presión en la caldera mediante válvulas de seguridad. Vista de detalle

e impide que el quemador se pueda poner en marcha sin la intervención del operario, y se suele revisar cada 15 días.

En el caso de calderas de vapor alimentadas por combustible sólido, habrá dos presostatos (Foto 12); el primero de trabajo marcha-parada-marcha, y el segundo de seguridad o parada y que bloqueará al quemador, como en el caso anterior, como en el caso anterior, mientras no se subsane la posible avería. Para calderas de agua caliente se suele trabajar a temperaturas máximas de salida de 80°C. (Foto 17).



Foto 17. Caldera de agua caliente

La dosificación de la entrada de calor del quemador a la caldera, se regula mediante dos mandos de marcha-parada-marcha automáticos que se calibran a temperaturas que no sobrepasen la máxima antes referida; además se dispondrá de un termostato de seguridad o de "rearme", que actuará si fallaran los mandos anteriores, y que parará el quemador o lo que es lo mismo la entrada de calor a la caldera. Para poner de nuevo en marcha el quemador, será imprescindible la presencia del operario que, una vez subsanada la avería, deberá actuar sobre el citado termostato para lo cual desenroscará una tuerca de cabeza para así tener acceso a un pivote que se empujará para desbloquear el quemador. (Foto 18).

Para calderas que produzcan agua sobrecalentada, la temperatura del agua se suele calibrar a unos 180°C de salida de caldera, dado que para calentar edificios de gran altura (40 plantas, por ejemplo), el agua



Foto 18. Caldera de agua caliente (de izquierda a derecha): 1 termostato, 1 termómetro, 2 hidrómetros y 1 válvula de seguridad (rearme)

llegaría fría a los pisos superiores, si la calentamos únicamente a 90°C. El sistema de parada del quemador para controlar el exceso de presión es similar al del agua caliente anteriormente expuesto.

Las válvulas de seguridad, regulan la salida del exceso de vapor (Foto 16).

Están provistas de mecanismo de apertura manual y regulación precintable. La regulación de la válvula se ayudará por la propia presión de vapor. No están permitidas las válvulas de paso directo ni las de contrapeso. Se instalarán dos válvulas independientes, las cuales se precintarán a una presión no superior a un 10% de la de servicio, no sobrepasando nunca la de diseño; las calderas de clase C, pueden llevar una sola válvula debiendo estar provistas de orificios de drenaje.

Nunca se instalarán entre la caldera y cada válvula de seguridad una válvula de cierre, a no ser que tuviera ésta un dispositivo eficaz que impidiera su maniobra por persona no autorizada.

Por último a la caldera se le incorporará una válvula de salida de aire que permitirá la salida del mismo. (Foto 19).

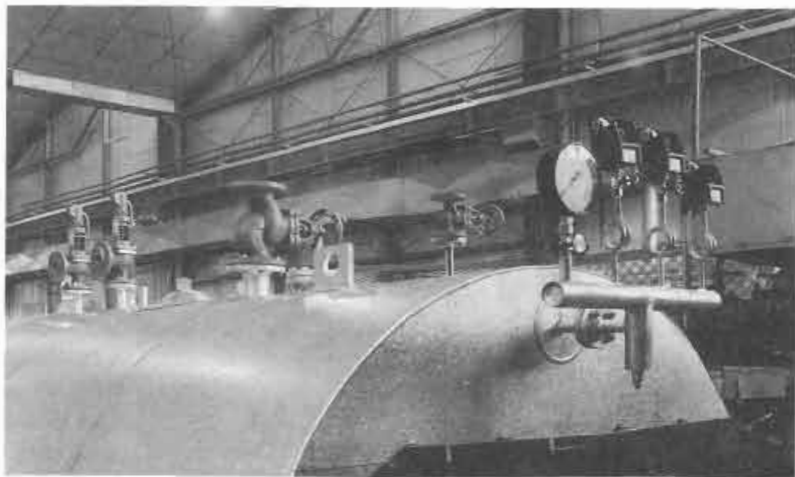
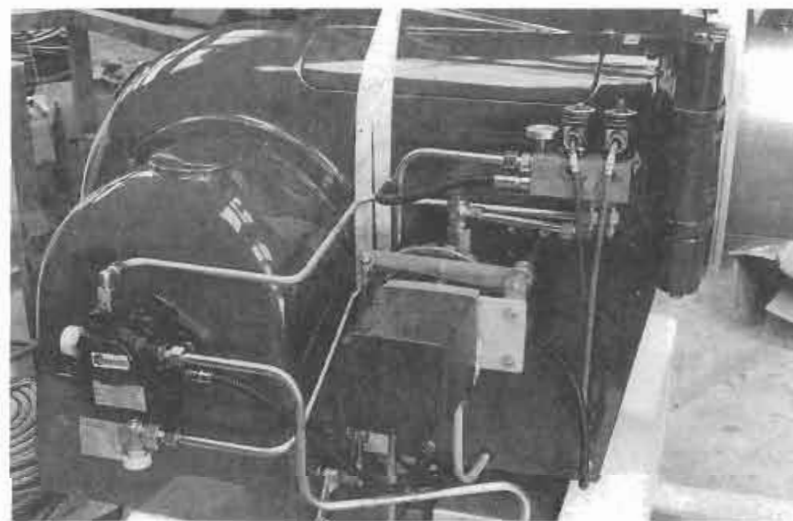
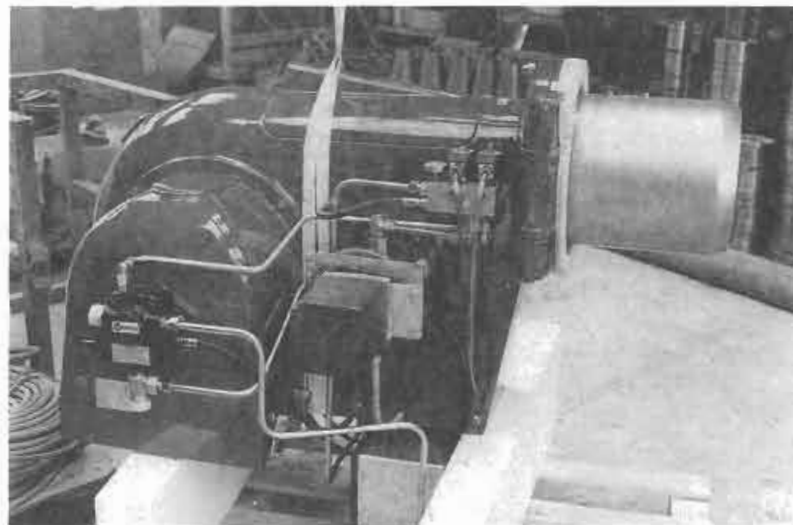


Foto 19. Regulación de la sobreimpresión. Foto de conjunto  
De izquierda a derecha: 2 válvulas de salida de vapor en exceso, salida general de vapor, salida de aire en exceso, bastidor con 1 manómetro y 3 presostatos

## 5. Regulación defectuosa de la llama, o de la combustión

El exceso en el aporte de calor a la caldera, podría producir una sobreimpresión, y ésta a su vez, la explosión.

Tanto la llama, como la combustión deberán regularse convenientemente. El aporte de combustible al quemador sin presencia de llama puede originar graves consecuencias en la marcha de la caldera, dado que implicaría el tener este combustible sin quemar como alto poder de detonación. Para subsanar la citada anomalía, el quemador vendrá dotado de una fotocélula cuya misión será la de cortar automáticamente la entrada de combustibles si la llama se interrumpiera, y ponerlo de nuevo en marcha cuando la presión baje a 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>. (Fotos 20 a 24)



Fotos 20 y 21. Quemador. Vista de conjunto y de detalle (400 Kg. de vapor por hora)



Foto 22. Vista de conjunto

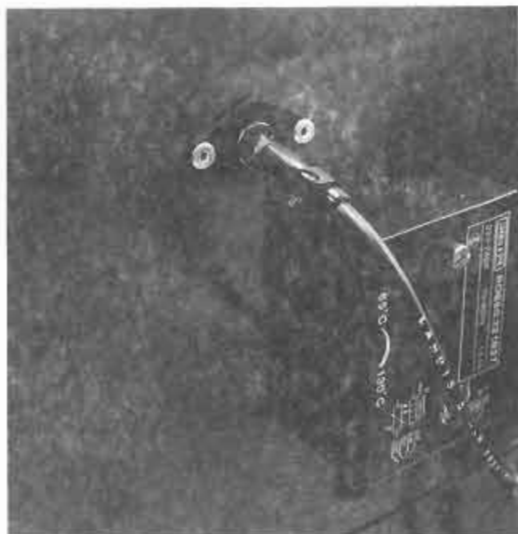


Foto 23. Vista de detalle. Control de llama  
Detalle de fotocélula de un quemador para corte de entrada  
de combustible en caso de interrumpirse la llama

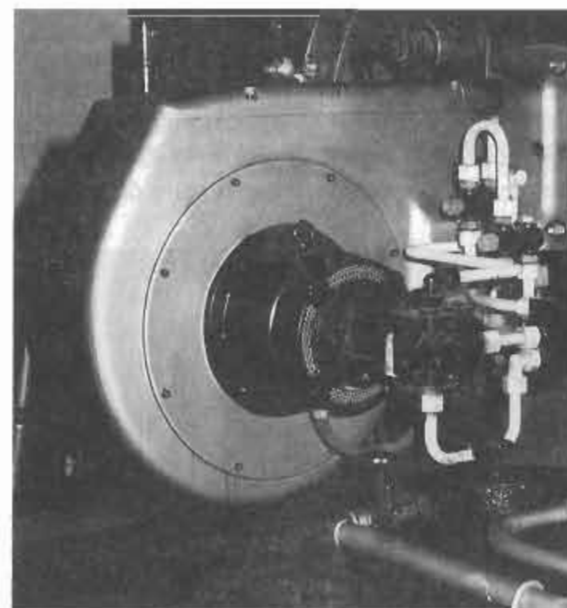


Foto 24. Quemador de Fuel-Oil (detalle de sistemas de válvulas de  
paso para componentes del quemador)

Si en el generador de calor está regulada la combustión en posición de "marcha automática progresiva", el presostato se graduará a una presión nominal de trabajo de forma que actúe sobre el caudal de combustible y el aire, para proporcionar la cantidad de calor necesario para el hogar de acuerdo con las necesidades de vapor; este presostato modulante es el presostato de caldera para el caso de que la marcha sea a dos marchas (para calderas de poca potencia, hasta 1000 Kg/vapor).

## 6. Fallo de los sistemas de regulación y/o de los dispositivos de seguridad

Para este caso se observarán las recomendaciones específicas que se detallan en los apartados donde se describan los sistemas de regulación o los dispositivos de seguridad y que se describen a lo largo del presente documento.

## 7. Envejecimiento de las paredes de la caldera

El efecto del envejecimiento de las paredes tiene como consecuencia una disminución de la resistencia de las mismas por efecto de la presión interna que toda caldera genera al estar en funcionamiento.

Las causas de un envejecimiento prematuro de las paredes serían entre otras:

Corrosión y erosión de las paredes (aguas no tratadas, materiales de composición de las paredes no apropiadas, etc...)

Insuficiente liberización de calor (falta de agua, alta temperatura del fluido calorificante, presencia de incrustaciones en el interior de las paredes a presión, etc...).

Alta presión del fluido calorificante.

Los dispositivos de seguridad o bien las actuaciones a seguir serían respectivamente:

Análisis y tratamiento de las aguas de entrada a la caldera.

Instalación de nivostatos, termostatos, electrodos, etc...

Instalación de válvulas de seguridad y de presostatos.

## 8. Mantenimiento defectuoso

El mantenimiento de la caldera es fundamental para evitar el peligro de explosión. En el apartado V.3., se trata con verdadera generosidad dicho aspecto, dentro del subtítulo de "instrucciones específicas para operadores"; ya que son estos los encargados de realizar el citado mantenimiento. (Ver Anexo 9). (Fotos 25 y 26).

La primera parte del cuadro se refiere a explosión de la caldera por rotura de partes a presión y que se producen en calderas de vapor y agua sobrecalentada por vaporización instantánea y expansión brusca del agua en la caldera.

La segunda parte se refiere a explosión en el hogar y son motivados por la combustión instantánea de los vapores del combustible líquido o gaseoso acumulado en el hogar.

En el anexo 10 se especifican los dispositivos automáticos de seguridad requeridos por el Reglamento de aparatos a presión ITC-MIE-

API para calderas con vigilancia indirecta. En él, se particularizan las diferentes "contingencias" que pudieran presentarse en la caldera, el "dispositivo de seguridad" que las detecta, la "acción" que automáticamente se produce dentro de la caldera, y por último el "tipo de caldera" en que debe preverse. (Ver Anexo 10)

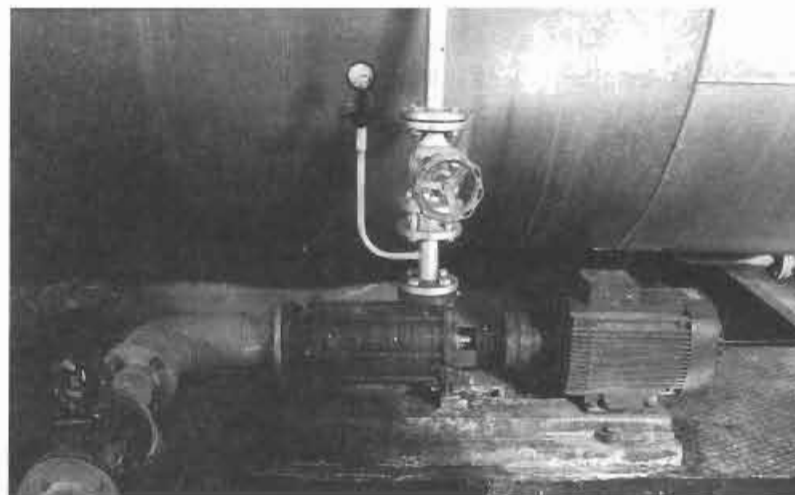


Foto 25. Mantenimiento no correcto.

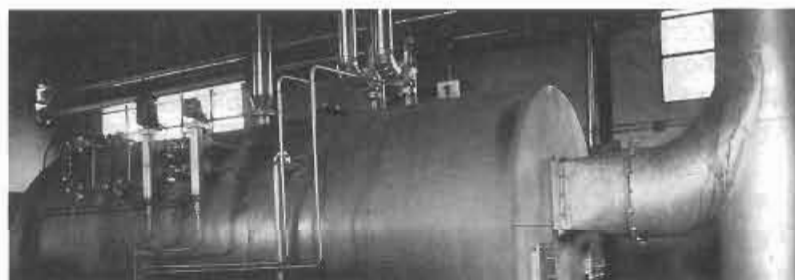


Foto 26. Mantenimiento no correcto.

## V. INSTRUCCIONES ESPECIFICAS PARA FABRICANTES, USUARIOS Y OPERADORES

### 1. Fabricantes

#### Definiciones

Empresas fabricantes, se consideran aquellas que emplean medios propios para la fabricación y ensamblaje total o parcial de los componentes de las calderas y que responsabilizándose del diseño y construcción de las mismas, estén inscritas en el libro de registro, que a tal efecto dispondrán las Delegaciones Provinciales del Ministerio de Industria y Energía.

#### Documentos a facilitar al usuario (ITC-MIE-API)

Cuaderno de instrucciones concernientes a:

- Funcionamiento de la caldera y sus accesorios.
- Funcionamiento del quemador y sus accesorios.
- Trabajos de entretenimiento y frecuencia de los mismos.
- Instrucciones de operaciones de la caldera, quemador y sus accesorios

"Libro de registro de usuario" donde constarán la identificación y características principales de la caldera. El citado libro será independiente del libro de registro previsto en el artículo 11 del Reglamento de recipientes a presión.

Expediente de control de calidad con los siguientes certificados:

- Certificado de calidad de materiales empleados en las partes a presión, extendidos por las empresas fabricantes de los mismos o laboratorio homologado.
- Fotocopia certificado homologación del proceso de soldadura
- Fotocopia certificado de calificación de los soldadores que han intervenido en su fabricación.
- Gráfico del tratamiento térmico cuando proceda
- Resultado de los ensayos, controles e inspecciones realizadas, y que serán como mínimo los correspondientes al código de diseño y construcción utilizado.

#### Otras obligaciones del fabricante (ITC-MIE-API)

Poseer talleres propios con maquinaria y personal adecuados

Tener homologados los procesos de soldadura en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.

Dado que las calderas son recipientes que estarán sometidos en el futuro a presión, los especialistas soldadores deberán estar en posesión de un certificado de calificación, extendido por la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía.

Los fabricantes llevarán a cabo controles radiográficos, gammagráficos y de ultrasonido de los materiales empleados, así como, de las uniones o soldaduras que se verificarán entre aquellos.

El fabricante deberá obtener, previamente a la fabricación de la caldera, el "Registro Tipo", según lo dispuesto en el artículo sexto del Reglamento de Aparatos a Presión (publicación del Ministerio de Industria y Energía), donde se especificarán todas las características de la futura caldera (volumenes, presiones, flujos, elementos de seguridad, etc....).

La autorización de "Puestas en Servicio" para el fabricante o instalador, viene reglamentada en el artículo veintidós del Reglamento de aparatos a presión.

La placa de instrucciones tiene por objeto el informar al operador

de las instrucciones generales de servicio de cara al funcionamiento diario; el fabricante adosará a la caldera por su parte exterior dicha placa donde se recopilarán las indicaciones imprescindibles para un funcionamiento seguro de la misma.(Ver Anexo 11). (Fotos 27 y 28 ).



Foto 27. Ejemplo de placa de instrucciones para calderas de vapor

Igualmente deberá fijar a la caldera la "Placa de características de la misma", (fotos 29 y 30) donde figurarán: Número de la caldera, tipo, potencia, presión de prueba, presión de trabajo, fecha de fabricación, volumen, categoría, temperatura máxima de servicio, superficie de calefacción, producción de vapor saturado, etc.

Respecto a la placa de timbre o de instalación indicar que será facilitada por la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía, correspondiente al lugar de instalación, y se fijarán mediante remates, soldadura o cualquier otro medio que asegure su inamovilidad, en un sitio visible del aparato. En ningún caso podrá retirarse del mismo. (Foto 31).

En la parte de arriba de la placa figurará el nombre de la Delegación Provincial correspondiente, el número de la caldera, y la presión efectiva máxima de servicio en kilos por centímetros cuadrados.

Además, aparecerán seis recuadros donde se estamparán las fechas (día, mes y año) de las revisiones generales, y que se llevarán a cabo cada cinco años.

La placa tendrá unas dimensiones de noventa y uno de alto por sesenta y cinco de ancho (en milímetros)



Foto 28. Ejemplo de placa de instrucciones para caldera eléctrica

## 2. Usuarios e instalaciones (locales)

### Consideraciones generales

El usuario es la persona física o la empresa que utiliza la instalación de la caldera; considerando pues que el usuario es el utilizador de la caldera, es la persona que soportará directamente los perjuicios tanto en pérdidas humanas como económicas que una explosión podría





Foto 29. Placa de características (vista de detalle)

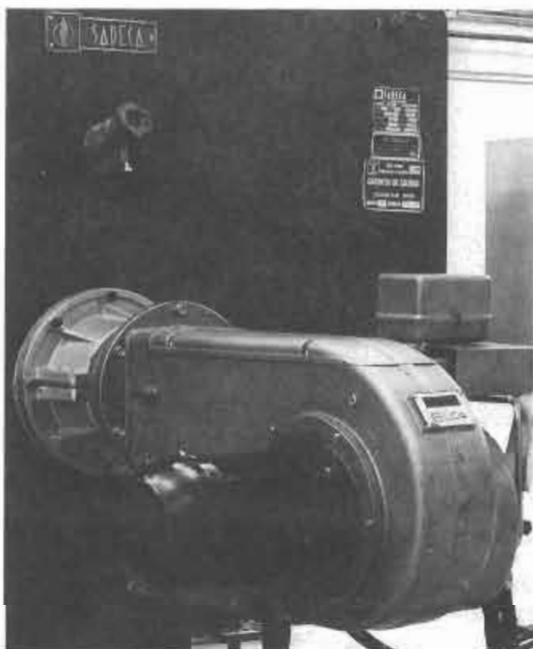


Foto 30. Quemador y placa de características (vista general)

acarrearle. Por ello vigilará muy estrechamente las matizaciones que seguidamente se exponen:

Los elementos de seguridad de la instalación de la sala de calderas serán usados y mantenidos de acuerdo con las normas e instrucciones del fabricante y/o instalador.

El agua de la caldera y el agua de alimentación se mantendrán con las características químicas que se especifiquen (Normas UNE 9-075).

Seguir las instrucciones del fabricante sobre los equipos instalados, inspección de la sala de calderas, y seguridad e higiene en el trabajo, mantenimiento una copia de ellas en lugar visible en la sala de calderas.

Mantener la sala de calderas limpia en todo momento

Poner fuera de servicio de forma inmediata las calderas que alcancen una condición de uso peligroso.

Se habilitará un libro de registro de la caldera para anotar cuantas operaciones de inspección, reparación y/o mantenimiento se realizarán en la misma.

Informar a la autoridad competente en caso de explosión, muerte o daño a personas.

La caldera estará en todo momento bajo control continuo y permanente.

El personal encargado de la conducción de la caldera estará capacitado para desempeñar el cometido asignado.

Notificará al inspector de las averías que sucedieren en las operaciones de mantenimiento llevadas a cabo por el conductor de la caldera.

Legalizará ante la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía el "Libro registro de usuario" y anotará en el mismo



Foto 31. Placa de timbre o de instalación